

Article citation info:

Adamiec M, Dziubiński M, Siemionek E, Drozd A. Comparative analysis of automotive starting batteries in the aspect of diagnostics research. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2017; 77(3): 5-16, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL77.ART1>

Analiza porównawcza samochodowych akumulatorów rozruchowych w aspekcie badań diagnostycznych

**MAREK ADAMIEC¹, MIECZYŚLAW DZIUBIŃSKI²,
EWA SIEMIONEK³, ARTUR DROZD⁴**

Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych

Streszczenie

W artykule opisano wyniki badań diagnostycznych samochodowych akumulatorów rozruchowych. Do badań wykorzystano siedem akumulatorów kwasowo-ołowiowych, które różniły się między sobą pojemnością, prądem rozruchowym, konstrukcją, czasem eksploatacji i stopniem zużycia. Doświadczenia wykonywano w podobnych warunkach zewnętrznych, a przed testami każdy z akumulatorów został naładowany i zewnętrznie oczyszczony. Badania wykonano na stanowisku pomiarowym oraz w pojeździe samochodowym. Wykorzystano ładowarki akumulatorów, testery elektroniczne, diagnostyk samochodowy oraz przyrządy pomiarowe analogowe i cyfrowe. Badania stanowiskowe akumulatorów polegały na sprawdzeniu ich stanu technicznego za pomocą testerów oraz wyznaczeniu charakterystyki napięciowo-prądowej. Badania w pojeździe przeprowadzono w trakcie rozruchu silnika spalinowego, w czasie jego pracy na biegu jałowym oraz przy unieruchomionym silniku i zasilanych odbiornikach elektrycznych pojazdu. Za pomocą diagnostyki i jego oprzyrządowania zmierzono, zarejestrowano i obliczono wielkości elektryczne charakteryzujące pracę akumulatora i zasilanych przez niego odbiorników. Na podstawie badań diagnostycznych przeprowadzono analizę porównawczą akumulatorów, ze szczególnym uwzględnieniem wyników badań najbardziej różniących się między sobą.

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Samochodowych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska, e-mail: m.adamiec@pollub.pl

² Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Samochodowych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska, e-mail: m.dziubinski@pollub.pl

³ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Pojazdów Samochodowych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska, e-mail: e.siemionek@pollub.pl

⁴ Politechnika Lubelska; Wydział Mechaniczny; Katedra Termodynamiki, Mechaniki Płynów i Napędów Lotniczych, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin, Polska, e-mail: adrozd.d@gmail.com

Porównano ze sobą zmierzone i wyznaczone wartości wielkości fizycznych, charakterystyki oraz zarejestrowane czasowe przebiegi napięcia i prądu. Podjęto próbę oceny stanu technicznego poszczególnych akumulatorów i ich przydatności do zastosowania w pojeździe samochodowym.

Słowa kluczowe: akumulator kwasowo-ołowiowy, pojazd mechaniczny, diagnostyka, tester.

1. Wstęp

Akumulatory stosowane w pojazdach samochodowych można podzielić według różnych kryteriów. Jednym z nich jest ich przeznaczenie i główne zadanie. Rozruch silnika spalinowego w układzie tradycyjnym jest realizowany z wykorzystaniem klasycznych akumulatorów kwasowo-ołowiowych, obsługowych i bezobsługowych, które charakteryzują się małą rezystancją wewnętrzną i możliwością uzyskania dużej wartości prądu. Częste rozruchy w układzie "start-stop" lub dołączanie dodatkowych odbiorników wymagają bardziej odpornych i wzmocnionych akumulatorów typu EFB (Enhanced Flooded Battery) i AGM (Absorbent Glass Matt) [7, 10]. Ogniwa typu EFB mają płyty dodatnie pokryte dodatkową powłoką poliestrową, co zapewnia większą stabilność masy czynnej płyty i jej odporność na pracę cykliczną przy dużych prądach. Kwas siarkowy wewnątrz akumulatora AGM jest absorbowany w mikroporowatym separatorze z włókna szklanego, przez taki rodzaj wypełnienia przestrzeni międzyelektrodowej zlikwidowano możliwość wycieku elektrolitu z uszkodzonego mechanicznie akumulatora i tendencję do lokalnej zmiany jego gęstości oraz zwiększono moc maksymalną ogniwa ze względu na małą rezystancję wewnętrzną tego typu konstrukcji. Akumulator AGM charakteryzuje się też odpornością na wstrząsy oraz częste cykle ładowania i dużego rozładowania, natomiast jego specjalna konstrukcja ze spiralnie zwiniętymi elektrodami posiada jeszcze mniejszą rezystancję wewnętrzną i większą pojemność w porównaniu z klasyczną wersją płytkową. Ogniwa tego typu są bezobsługowe, wyposażone w jednokierunkowe zawory gazowe i wewnętrzny system rekombinacji gazów, zapobiegający utracie wody. Ogniwa stosowane w samochodach hybrydowych i elektrycznych to głównie akumulatory niklowo-metalowo-wodorkowe i litowo-jonowe, posiadające dużą gęstość akumulacji energii i trwałość, korzystny stosunek pojemności do masy, odporność na samorozładowanie i możliwość pracy w dużym zakresie temperatur [3, 8]. W pojazdach wykorzystujących akumulatory jako źródło zasilania elektrycznego silnika napędowego, duże znaczenie mają systemy sterujące i chłodzące, które chronią przed przeładowaniem i wyładowywaniem maksymalnym oraz przeciążeniem i wysoką temperaturą. Jeszcze inne wymagania stawiane są akumulatorom zasilającym systemy alarmowe i sterujące w przypadku odłączenia ogniwa głównego. Do realizacji tego zadania akumulator nie musi mieć dużej pojemności i odporności na znaczne obciążenia, ale powinien charakteryzować się możliwością długotrwałej bezobsługowej pracy.

Opracowane systemy sterujące i monitorujące pracę akumulatorów stacjonarnych umożliwiają także ich ciągłą diagnostykę, w niektórych przypadkach podobne rozwiązania stosowane są również w pojazdach, w celu usprawnienia i optymalizacji pracy zwykłych akumulatorów rozruchowych [6, 10]. Szczegółowe czynności diagnostyczne są już jednak wykonywane z wykorzystaniem urządzeń nie będących na wyposażeniu pojazdu, a metody badań można podzielić na stanowiskowe i realizowane w pojeździe. Podstawową metodą

diagnostyczną był kiedyś pomiar gęstości elektrolitu w roztworze wodnym, badanie tego typu nie może być jednak wykonane we współczesnych ogniwach bezobsługowych. Niekiedy wykorzystuje się tę metodę mierząc gęstość elektrolitu wewnątrz akumulatora przy pomocy fabrycznie wbudowanego areometrycznego wskaźnika stanu naładowania z pływakim lub zastosowanie wewnętrznych czujników [5]. Ocena ogólna akumulatora jest możliwa przy pomocy testerów elektronicznych, a bardziej szczegółowa wymaga zastosowania zaawansowanych technicznie diagnoskopów [9]. Najbardziej wartościowe metody diagnostyczne uwzględniają różne czynniki, umożliwiają badanie pod obciążeniem i rejestrację wielkości opisujących pracę akumulatora [2]. Pomocne w doborze właściwej metody diagnozowania, jak i projektowania urządzeń testujących, są komputerowe programy badań, modele matematyczne akumulatorów i układów zasilania oraz związane z nimi badania symulacyjne [1, 4]. Różne akumulatory można diagnozować i porównywać ze sobą uwzględniając ich konstrukcję i parametry, ale także stan techniczny oraz czas i warunki dotychczasowego użytkowania. W artykule zaprezentowano wyniki wieloaspektowych badań diagnostycznych samochodowych akumulatorów rozruchowych i analizę porównawczą przeprowadzoną na ich podstawie.

2. Metodyka i wyniki badań

Badania diagnostyczne wykonano dla siedmiu akumulatorów samochodowych kwasowo-olowiowych różnego rodzaju i w różnym stanie technicznym. Wśród nich były trzy typy ogniw znacząco różniące się od siebie - klasyczny, AGM płytkowy oraz AGM spiralny z ogniwami o przekroju kołowym. Badane jednostki można podzielić na cztery fabrycznie nowe oraz trzy eksploatowane w pojeździe i poza nim przez różne okresy czasu, a wśród nich jeden typu obsługowego, z otwieranymi celami. Szczegółowy opis klasyfikacyjny zamieszczono w tabeli 1. Zgodnie z przyjętymi tam oznaczeniami akumulator "klasyczny używany" pracował w badanym pojeździe przez dziesięć miesięcy, akumulator "obsługowy używany" był eksploatowany w innym pojeździe przez pięć lat, a następnie wykorzystywany w laboratorium do niewielkich obciążeń przez trzy lata, natomiast "akumulator zużyty" był używany w pojeździe przez siedem lat, a następnie magazynowany przez jeden rok. Wszystkie ogniwa były badane w podobnych warunkach i w tym samym pojeździe, a przed testami i obciążeniem były naładowane w takim stopniu na jaki pozwalał ich stan techniczny. Na początku pomiarów stanowiskowych akumulatory zbadano za pomocą trzech testerów elektronicznych, a zbiorcze wyniki badań zamieszczono w tabeli 1. Testery wymagały wprowadzenia informacji tekstowych i liczbowych dotyczących badanego ogniwa, a szczególnie jego rodzaju oraz normy, według której producent ustalił prąd rozruchowy I_{CCA} (Cold Cranking Amperage). Jedno urządzenie testujące posiadało wbudowany opornik w celu obciążenia akumulatora prądem o wartości około 100A i pomiaru jego napięcia w tym stanie, pozostałe dwa wykonywały test na podstawie pomiaru napięcia w stanie jałowym i obliczenia dynamicznej rezystancji wewnętrznej przy obciążeniu małym prądem o zmiennej wartości oraz oszacowania aktualnej wartości prądu rozruchowego I_{CCA} , a w rezultacie wystawienia oceny tekstowej, dotyczącej dalszego użytkowania i przydatności.

W ramach badań laboratoryjnych wyznaczono charakterystykę napięciowo-prądową wybranych akumulatorów obciążając je płynnie do maksymalnego prądu 100A, a wyniki badań zamieszczono na rysunku 1. Ta próba nie została wykonana dla akumulatora zużytego, z powodu jego małej rzeczywistej pojemności i szybkiego rozładowywania się. Badania akumulatorów w pojeździe samochodowym zrealizowano z wykorzystaniem diagnoskopu. W tym celu podłączono niezbędne przewody i sondy do klem akumulatora oraz zapięto na

odpowiednich przewodach instalacji pojazdu cęgi prądowe 30A i 1000A. Pierwszą czynnością był pomiar prądu spoczynkowego akumulatora, pobieranego przez urządzenia sterujące i alarmowe pojazdu w czasie jego unieruchomienia i wyłączenia wszystkich pozostałych odbiorników elektrycznych. Nie jest to typowe badanie diagnostyczne akumulatora, ale ma na celu wykrycie ewentualnych miejsc z uszkodzoną izolacją i prądu upływu, w celu zapobiegania rozładowaniu akumulatora. Dla wszystkich badanych ogniw uzyskano podobne rezultaty, prąd spoczynkowy przyjmował wartość od 13mA do 29 mA. Natomiast przeciętny i dopuszczalny zakres tej wielkości wynosi od 20mA do 45 mA.

Najważniejszym badaniem diagnostycznym była próba rozruchu silnika oraz rejestracja przebiegów napięcia i prądu. Dodatkowo w tym badaniu diagnostycznym wyznaczał i wyświetlał na monitorze maksymalną i minimalną wartość napięcia, maksymalny prąd rozruchowy i jego natężenie po fazie rozruchu, rezystancję wewnętrzną akumulatora dopuszczalną i obliczoną oraz moc średnią w czasie rozruchu. Wybrane graficzne wyniki tych badań, najbardziej różniące się między sobą, zamieszczono na rysunkach 2-5, natomiast wyniki liczbowe zestawiono w tabeli 2. W kolejnym badaniu diagnostycznym zarejestrowano napięcie i prąd akumulatora przy rosnącym, a następnie malejącym obciążeniu, w stanie unieruchomienia silnika pojazdu czyli bez pracy alternatora.

W tej próbie wyznaczono skokowe zmiany prądu i napięcia podczas włączania i wyłączania kolejnych odbiorników elektrycznych, stanowiących wyposażenie pojazdu. Wybrane wyniki badań w formie wykresów, najbardziej różniące się między sobą, zamieszczono na rysunkach 6-8. Ostatnią próbą diagnostyczną w pojeździe była obserwacja i rejestracja napięcia na zaciskach akumulatora przy współpracy z alternatorem oraz wyznaczenie procentowego tętnienia napięcia. W tym doświadczeniu można ocenić zdolność akumulatora do tłumienia pulsacji napięcia prostowanego przez diody w alternatorze oraz prawidłowość połączeń elektrycznych między alternatorem i akumulatorem. Wybrane przebiegi napięć, najbardziej różniące się między sobą, pokazano na rysunkach 9-11.

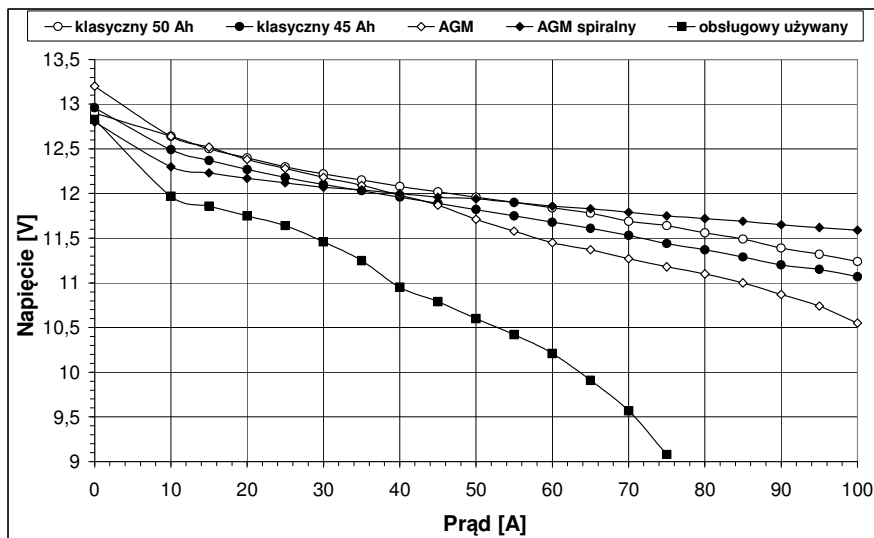
Tabela 1. Wyniki badań stanowiskowych akumulatorów rozruchowych kwasowo-ołowiowych 12V z wykorzystaniem testerów

Typ i stan akumulatora	klasyczny nowy	klasyczny nowy	AGM nowy	AGM spiralny nowy	klasyczny używany	obsługowy używany	klasyczny zużyty
Pojemność [Ah]	50	45	40	44	62	40	75
Napięcie przed testem [V]	12,64 - 13	12,65 - 12,9	12,9- 13,2	12,71- 13	12,61 - 12,9	12,75 - 13,2	12,74 - 13
Napięcie pod obciążeniem [V]	11,4	11,5	11,2	11,5	11,3	10,5	7,6
Napięcie po obciążeniu [V]	12,5	12,6	12,9	12,4	12,6	12,6	12,8
Prąd CCA znamionowy [A]	450 (EN)	400 (EN)	220 (EN)	730 (EN)	540 (EN)	200 (DIN)	680 (EN)
Prąd CCA oszacowany [A] (tester 1)	444	420	219	788	464	126	84
Prąd CCA oszacowany	495	469	242	810	507	142	95

[A] (tester 2)							
Ocena akumulatora (tester 1)	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	wymień	wymień
Ocena akumulatora (tester 2)	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry	dobry- doładuj	zepsuty- wymień

Tabela 2. Wartości wielkości znamionowych akumulatorów i wyznaczonych w czasie próby rozruchu z wykorzystaniem diagnostyki

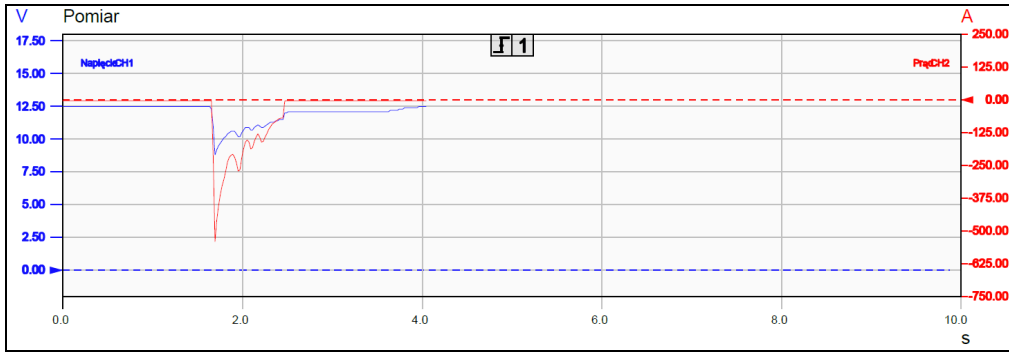
Typ i stan akumulatora	klasyczny nowy	klasyczny nowy	AGM nowy	AGM spiralny nowy	klasyczny używany	obsługowy używany	klasyczny zużyty
Pojemność [Ah]	50	45	40	44	62	40	75
Prąd CCA znamionowy [A]	450 (EN)	400 (EN)	220 (EN)	730 (EN)	540 (EN)	200 (DIN)	680 (EN)
Napięcie minimalne [V]	8,8	8,8	7,8	9,8	8,8	6,8	1,7
Napięcie maksymalne [V]	12,5	12,7	12,6	14,2 (alternatora)	14,3 (alternatora)	12,9	12,7
Prąd rozruchowy maksymalny [A]	541	501	432	717	586	475	179
Prąd po rozruchu [A]	3	3	2	2	3	2	2
Rezystancja wewnętrzna dopuszczalna [mΩ]	9,9	11,1	20,2	6,1	8,2	13,5	6,6
Rezystancja wewnętrzna wyznaczona [mΩ]	6,9	7,2	11,2	3,6	6,2	11,2	62,1
Moc średnia [kW]	2,81	2,35	2,45	3,18	2,65	1,77	0,39



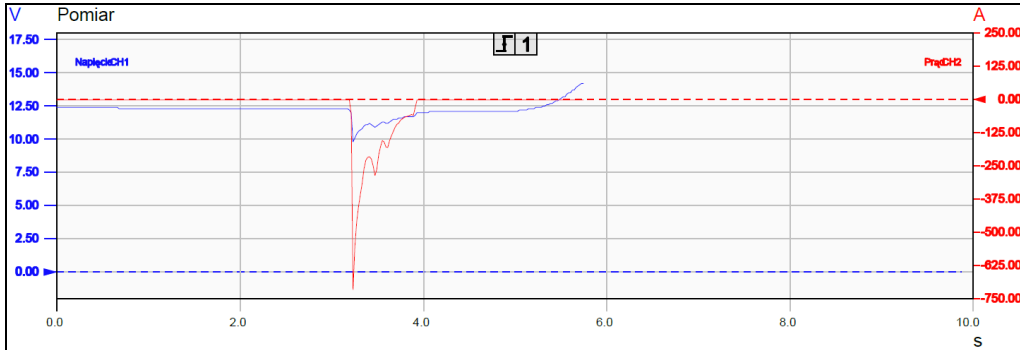
Rys.1. Charakterystyki napięciowo-prądowe wybranych akumulatorów

3. Analiza wyników badań

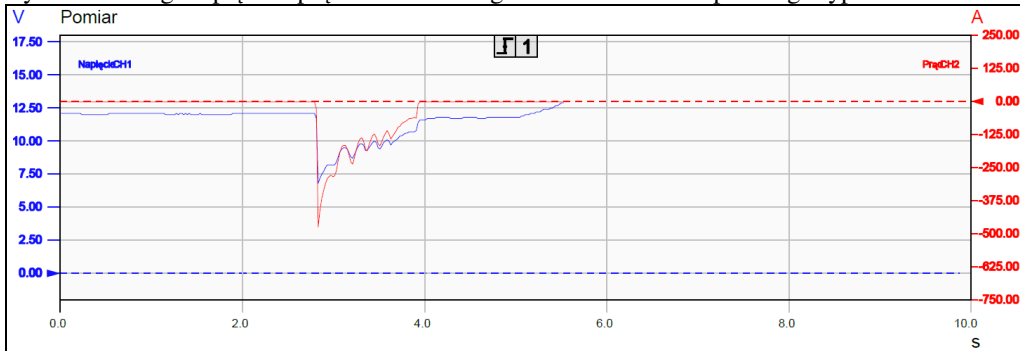
Analizę porównawczą akumulatorów przeprowadzono na podstawie badań diagnostycznych stanowiskowych i wykonanych w pojeździe samochodowym. Wykorzystano w tym celu mierniki elektroniczne, elektromechaniczne, testery elektroniczne oraz wielofunkcyjny diagnostyczny wyposażony w cęgi prądowe 30A i 1000A. Siła elektromotoryczna badanych akumulatorów, czyli napięcie w stanie jałowym, osiągała prawidłowe wartości przed i po obciążeniu. Pomiar tej wielkości bezpośrednio, albo w niedługim czasie po ładowaniu jest nieuzasadniony, ponieważ jest ona wtedy chwilowo zawyżona, a po obciążeniu szybko spada. Wielkość ta może być traktowana jako czynnik diagnostyczny tylko w przypadku trwałego utrzymywania się poniżej napięcia znamionowego lub szybkiego zmniejszania po naładowaniu i bez obciążenia. Natomiast napięcie mierzone pod obciążeniem jest już wielkością umożliwiającą ocenę stanu akumulatora. Podczas badań akumulatorów stosowano płynne, skokowe oraz gwałtowne i znaczne zwiększanie obciążenia. Według pierwszego sposobu wyznaczono charakterystykę napięciowo-prądową, która początkowo ma przebieg nieliniowy z powodu strat energii związanych z aktywacją reakcji chemicznych. Po obciążeniu początkowym prądem o wartości 10A napięcie jest niestabilne, obniża się przez kilka lub kilkanaście sekund do wartości ustalonej i dopiero wtedy jest możliwy jego pomiar. Przy większych obciążeniach napięcie ustala się już znacznie szybciej, ale w przypadku akumulatora obsługowego używanego osiągnięto trwale tylko 75A, a następnie napięcie i prąd zaczęły się obniżać. Z przebiegu tej charakterystyki widać, że nawet dla mniejszych obciążeń wartości napięcia nie są całkowicie stabilne.



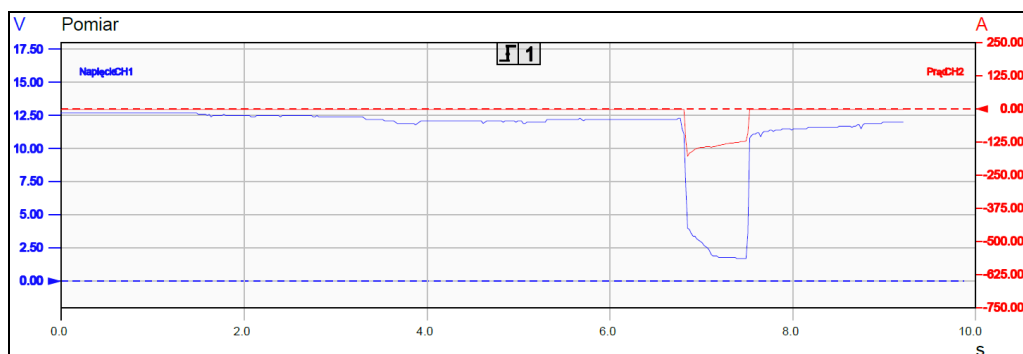
Rys.2. Przebiegi napięcia i prądu rozruchowego dla akumulatora klasycznego 50 Ah



Rys.3. Przebiegi napięcia i prądu rozruchowego dla akumulatora spiralnego typu AGM



Rys.4. Przebiegi napięcia i prądu rozruchowego dla akumulatora obsługowego używanego



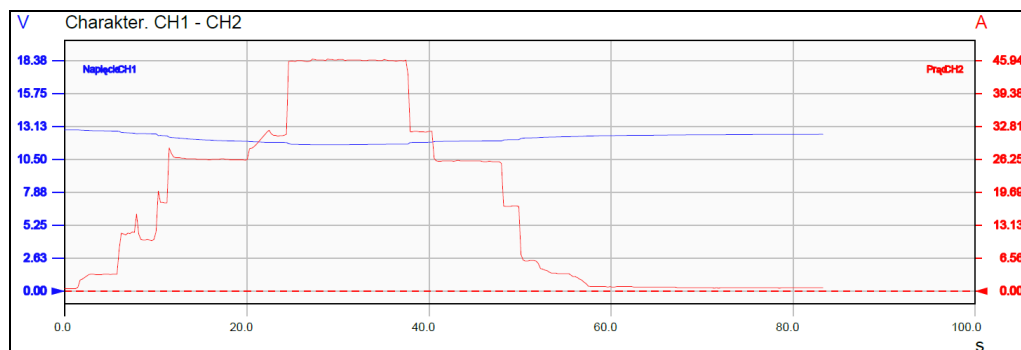
Rys.5. Przebiegi napięcia i prądu rozruchowego dla akumulatora klasycznego zużytego

Charakterystyki dwóch akumulatorów klasycznych 50 Ah i 45 Ah mają podobny przebieg, dla ogniwa AGM krzywa ma korzystny trend przy mniejszym obciążeniu, a przy większym wyraźnie się obniża, odwrotnie jest dla ogniwa spiralnego AGM - po szybkim spadku początkowym dalszy przebieg jest płaski i przy maksymalnym obciążeniu jego napięcie jest największe (rys.1). Największy i najbardziej gwałtowny wzrost natężenia prądu występuje w początkowej fazie pracy rozrusznika. Skuteczny rozruch silnika jest możliwy, gdy akumulator jest w stanie wygenerować odpowiednio duży prąd, a więc musi dysponować wymaganym ładunkiem elektrycznym i niewielką rezystancją wewnętrzną. Zarejestrowane przebiegi napięcia i prądu rozruchowego były do siebie podobne dla następujących par akumulatorów: klasycznych 50 Ah i 45 Ah, AGM i obsługowego używanego, AGM spiralnego i klasycznego używanego. Wybrane przebiegi są zamieszczone jako rysunki 2-4. Natomiast zupełnie odmienne krzywe uzyskano dla akumulatora klasycznego zużytego, który nie był w stanie spowodować rozruchu silnika (rys.5). Skokowe zwiększanie obciążenia występuje podczas włączania kolejnych odbiorników, dla elementów z rezystancją zależną od prądu i temperatury można zaobserwować chwilowe wzrosty prądu, a następnie jego stabilizację. Wykresy skokowych zmian napięcia i prądu akumulatorów ogólnie są do siebie podobne, ale różnią się wartością maksymalnie osiągniętego natężenia prądu dla tego samego odbiornika oraz napięciem występującym przy tym prądzie. Najkorzystniejsze wyniki badań i charakterystyki uzyskano dla akumulatora spiralnego AGM, a zdecydowanie najslabsze osiągi zarejestrowano dla ogniwa klasycznego zużytego (rys. 6-8).

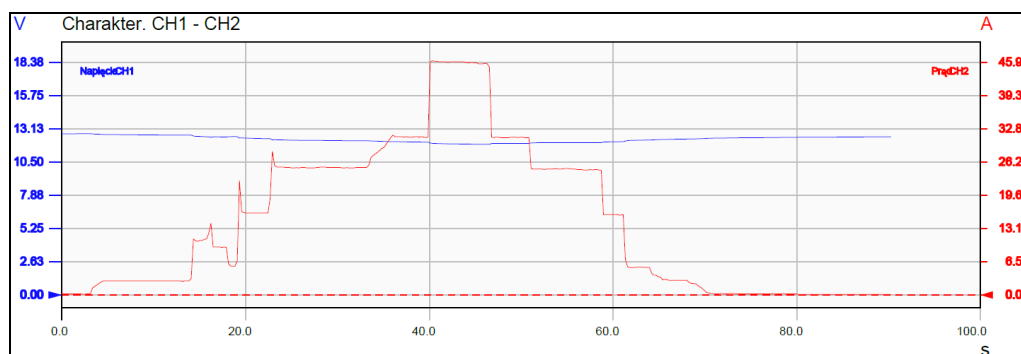
Bardzo istotną wielkością i zależną od stanu technicznego oraz stopnia naładowania jest rezystancja wewnętrzna akumulatora, która dla badanych sprawnych ogniów osiągała wartość od 3,6 mΩ do 11,2 mΩ, a dla akumulatora niesprawnego aż 62,1 mΩ. Opór ten został obliczony za pomocą diagnostyki podczas próby rozruchu silnika. Zastosowane testery elektroniczne, które nie obciążają akumulatora znacznym prądem, również według odpowiedniego algorytmu wyznaczają jego rezystancję wewnętrzną, ale informację o stanie naładowania wyświetlają w uproszczonej, bardziej zrozumiałej formie. Oprócz tego oporu na wewnętrzne straty napięcia akumulatora mają jeszcze wpływ reakcje chemiczne i energia potrzebna do przeprowadzenia ich poszczególnych etapów.

Pulsacja napięcia mierzonego na zaciskach akumulatora współpracującego z alternatorem wynika z procesu prostowania napięcia zmiennego przez układ prostowniczy prądnicy. Krótkotrwałe impulsy o dużej amplitudzie i wahania napięcia są tłumione przez akumulator, ale ich amplituda zależy także od długości przewodów i prawidłowości połączeń. Dla czterech

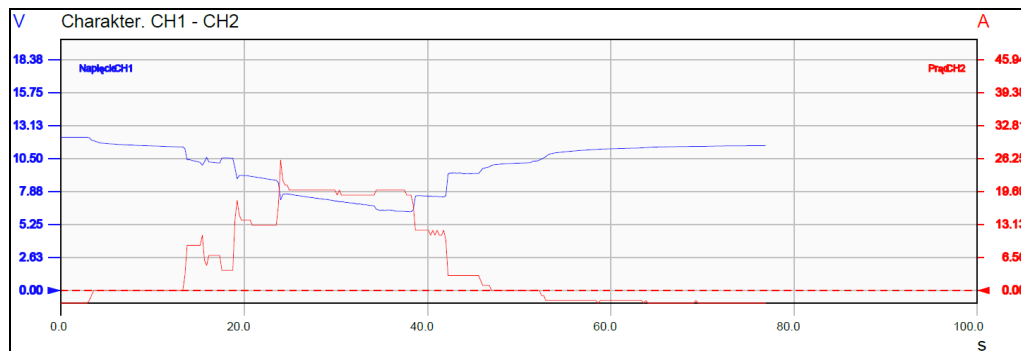
nowych akumulatorów tętnienie napięcia nie przekraczało 1%, a dla dwóch używanych zanotowano większe wartości, ale nie przekraczające 3%. Niewielkie zakłócenia, okresowo pojawiające się na niektórych przebiegach i nie dające się wytłumaczyć, mogą być spowodowane przepięciami powstającymi podczas zjawisk komutacyjnych na diodach układu prostowniczego (rys. 9-11).



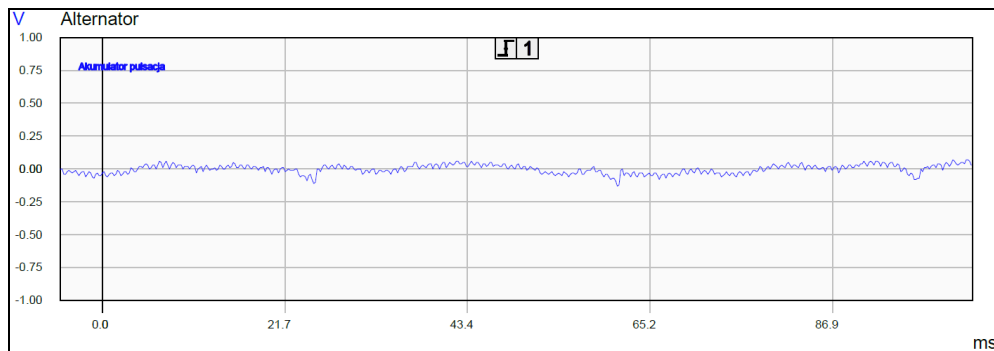
Rys.6. Skokowe zmiany napięcia i prądu akumulatora klasycznego 50 Ah podczas włączania i wyłączania odbiorników



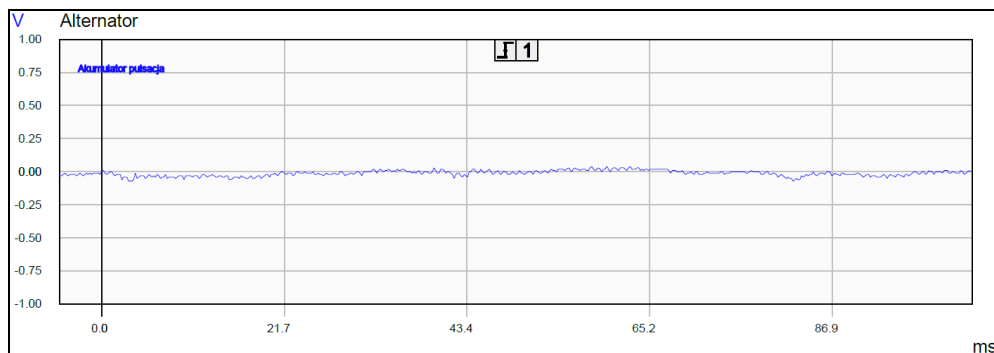
Rys.7. Skokowe zmiany napięcia i prądu akumulatora spiralnego typu AGM podczas włączania i wyłączania odbiorników



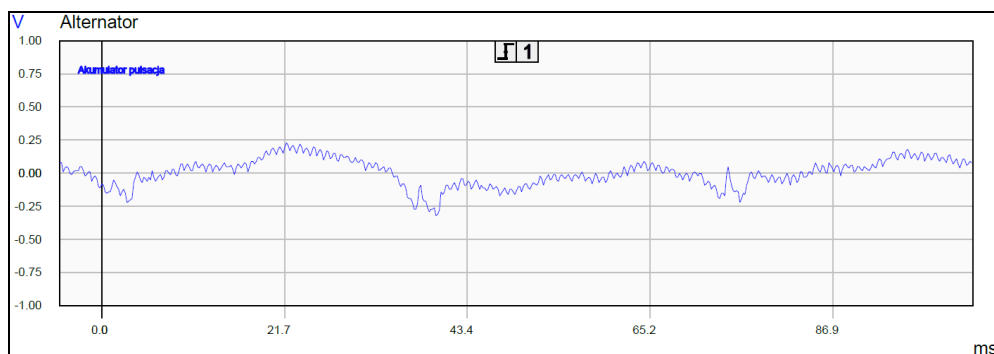
Rys.8. Skokowe zmiany napięcia i prądu akumulatora "klasycznego zużytego" podczas włączania i wyłączania odbiorników



Rys.9. Składowa zmienna napięcia na zaciskach akumulatora klasycznego 45 Ah podczas współpracy z alternatorem (14,3V; 0,2A; tętnienie 0,96%)



Rys.10. Składowa zmienna napięcia na zaciskach akumulatora spiralnego AGM podczas współpracy z alternatorem (14,3V; 5,9A; tętnienie 0,34%)



Rys.11. Składowa zmienna napięcia na zaciskach akumulatora obsługowego używanego podczas współpracy z alternatorem (14,3V; 0,4A; tętnienie 2,39%)

4. Podsumowanie

Badanie za pomocą testerów umożliwia ogólną ocenę stanu technicznego akumulatora, a jego wynik zależy od metod i algorytmów badawczych urządzenia. Rezultaty badań

potwierdzały prognozowany, ogólny stan techniczny akumulatorów i trafnie oceniały możliwość ich zastosowania w pojeździe. Szacowane przez dwa testery wartości prądu rozruchowego, dla tego samego ogniwa, były różne ale najczęściej nie przeciwstawne w stosunku do wartości znamionowej. Dla czterech fabrycznie nowych akumulatorów wartości oszacowane były na ogół większe niż znamionowe, a dla ogniw używanych mniejsze, w stopniu zależnym od ich stanu zużycia. Wyznaczenie charakterystyki napięciowo-prądowej jest wartościową metodą diagnostyczną, prąd jest cały czas pobierany, a jego natężenie sukcesywnie wzrasta. Zauważyć można "reakcję napięciową" akumulatora, w jakim stopniu obniża się różnica potencjałów, jak długo się stabilizuje przy danym obciążeniu i jaki prąd można trwale osiągnąć. Najlepszą metodą diagnostyczną jest połączenie w jednym urządzeniu techniki pomiarowej, obliczeniowej i graficznej, w celu oceny różnych wielkości fizycznych i ich zmian. Główne badanie akumulatora powinno być wykonane w czasie rozruchu silnika pojazdu, ponieważ jest to jego podstawowe zadanie. Akumulator spiralny typu AGM był w stanie zasilać rozrusznik największym prądem przy najmniejszym spadku napięcia i zapewniał rozruch silnika spalinowego w najkrótszym czasie. Spośród akumulatorów klasycznych najmniejszy opór wewnętrzny i najszybszy rozruch zarejestrowano dla ogniwa używanego w badanym pojeździe przez dziesięć miesięcy, trochę gorsze wyniki zanotowano dla niego przy szacowaniu prądu rozruchowego przez testery. Akumulator klasyczny zużyty, z powodu dużej rezystancji wewnętrznej równej 62,1 mΩ i spadku napięcia do 1,7 V, nie był w stanie spowodować rozruchu silnika pojazdu. Po badaniu diagnostycznym dwóch akumulatorów typu AGM można stwierdzić, że zdecydowanie lepsze osiągi miało ogniwo o budowie spiralnej. Należy jednak uwzględnić, że akumulator płytkowy typu AGM charakteryzował się trochę mniejszą pojemnością i ponad trzykrotnie mniejszym znamionowym prądem rozruchowym. Bardzo podobne rezultaty badań uzyskano dla dwóch nowych akumulatorów bezobsługowych klasycznych o podobnych pojemnościach, spełniały one bardzo dobrze wymagania stawiane ogniwom rozruchowym. Akumulator obsługowy, który był eksploatowany przez pięć lat w pojeździe i sprawiał już tam duże problemy, nadawał się jeszcze do wykorzystania w laboratorium i zasilania odbiorników małej mocy.

Po trzech latach takiej pracy został naładowany i skutecznie wykorzystany do rozruchu silnika pojazdu. Próba ta pokazuje, że jednoznaczna ocena akumulatora może być trudna, równocześnie jego ponowne zamontowanie i stosowanie w pojeździe w dłuższym czasie może okazać się nieskuteczne. Historia badanych akumulatorów była znana, natomiast w przypadku diagnozowania jednostek o niewiadomym stanie technicznym, można zastosować najbardziej odpowiednie i w danych warunkach możliwe do wykonania czynności opisane w artykule.

Literatura

- [1] Chmielewski A, Gontarz S, Gumiński R, Mączak J, Szulim P. Badania elektrochemicznych magazynów energii. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2016; 92(10): 231-234.
- [2] Gładysek J, Gładysek M. *Poradnik diagnostyki samochodowej - pomiary oscyloskopowe*. Wydawnictwo Bosch. 2008.
- [3] Jaroszyński L. Akumulatory litowe w pojazdach elektrycznych. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2011; 87(8): 280-284.
- [4] Kasprzyk L, Bednarek K, Burzyński D. Symulacja pracy akumulatorów kwasowo-olowiowych. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2016; 92(12): 61-64.

- [5] Marcos J, Cao-Paz A. M, Lago A, Nogueiras A, Peñalver C M. Fiber optic sensors for diagnosis and maintenance in lead-acid batteries. 2nd IFAC Workshop on Advanced Maintenance Engineering, Services and Technology. 2012; Universidad de Sevilla, Spain.
- [6] Nagashima S, Takahashi K, Yabumoto T, Shiga S, Watakabe Y. Development and field experience of monitoring system for valve-regulated lead–acid batteries in stationary applications. *Journal of Power Sources*. 2006; 158: 1166-1172.
- [7] Schaeck S, Stoermer A O, Hockgeiger E. Micro-hybrid electric vehicle application of valve-regulated lead–acid batteries in absorbent glass mat technology: Testing a partial-state-of-charge operation strategy. *Journal of Power Sources*. 2009; 190: 173-183.
- [8] Świerżewski M. Chemiczne źródła prądu elektrycznego. Dodatek do miesięcznika "INPE". SEP; 2013; 42.
- [9] Trzeciak K. Diagnostyka samochodów osobowych. Warszawa: WKiŁ; 2013. 392.
- [10] Wróblewski P. Eksploatacja i diagnostyka akumulatorów VRLA z czujnikiem akumulatora IBS w pojazdach z systemem start-stop. *Auto Moto Serwis*. 2016; 1: 30-35.